TP – Formation de la croûte océanique à partir de la fusion manteau

Etape 1 – Les compositions minéralogiques et chimiques du manteau et de la croûte océanique : Rappels

- Observer au microscope polarisant les lames de <u>basaltes</u>, <u>gabbro</u> et <u>péridotites</u>.
- Noter dans un tableau le % approximatif de chacun des minéraux suivant : pyroxène, olivine, Feldspath (plagioclase), verre, ainsi que leur taille.

	Péridotite	**Gabbro**	**Basalte**
Pyroxène			
Olivine			
Feldspath			
Verre			
Taille des cristaux			

Utilisation du logiciel Magma (Mode d'emploi) :

<u>*Lancer le logiciel DosBOX.*</u>
Taper « *mount c c:\magma* ». Puis valider. Taper ensuite « *c :* » puis valider. Taper alors « *magma* » puis valider. Le logiciel Magma se lance dans une fenêtre. Valider à nouveau. Une barre de navigation apparaît en haut de la fenêtre de « *magma* ». Vous pouvez à n'importe quel moment atteindre cette barre de navigation en appuyant sur la touche « *echap* ». Pour vous déplacer dans cette barre de navigation, utilisez les flèches droite et gauche. Sélectionner (fond blanc) la case « *données* » puis valider.

	Péridotite	**Gabbro**	**Basalte**
SiO_2			
Al_2O_3			
FeMgO			
CaO			
Na_2O			
K_2O			
H_2O			

Données : Cette fenêtre vous permet de visionner et sélectionner (et éventuellement de modifier) les compositions chimiques des roches magmatiques les plus communes communes. En utilisant les flèches, positionnez vous sur « *B. Tholéitique* » (pour Basalte de la croûte océanique), et valider. La composition chimique (en oxyde) apparaît. Notez cette composition chimique dans un tableau. De la même façon, sélectionner « *Granogabbro* » (pour Gabbro), puis « *péridotite* ».

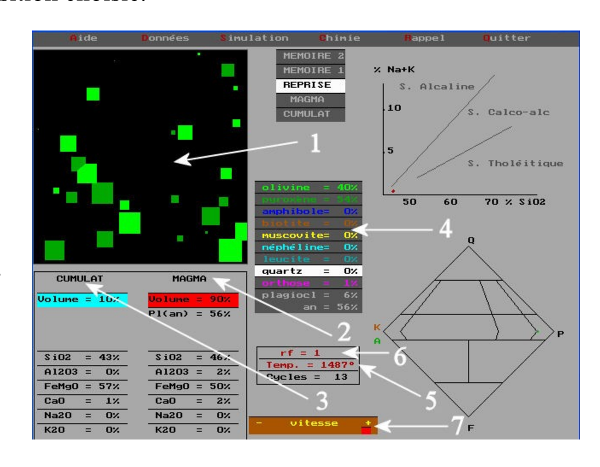
En utilisant la comparaison des trois roches, répondez aux <u>**questions 1 et 2**</u> :

1. Basaltes et gabbros peuvent ils être issus de la cristallisation du même magma ?
2. Peut-on faire l'hypothèse que le manteau est à l'origine de la croûte océanique ?

Etape 2 – La cristallisation d'une roche à partir d'un magma

Un <u>magma</u> est un ensemble d'éléments chimiques contenu dans un <u>liquide</u> à <u>très haute température</u>. Cette température est telle que les atomes ne peuvent pas se rassembler par des liaisons covalentes ou ioniques pour former des molécules. Cependant si la température descend sous une limite, appelée <u>Température de cristallisation (ou température de fusion)</u>, les atomes vont se rassembler pour former un cristal. Chaque cristal a une température de fusion propre au dessus de laquelle il fond et en dessous de laquelle il se forme à l'état solide.
Le logiciel Magma permet de simuler la cristallisation d'un magma de composition choisie.

Retournez à la fenêtre « *Données* » en appuyant sur « *echap* » et choissisez « *Péridotites* », valider. Appuyez à nouveau sur « *echap* » pour retourner à la barre de navigation et sélectionner « *Simulation* » et valider. Une nouvelle fenêtre apparaît (*voir ci-contre*). Cette fenêtre permet de suivre l'évolution du magma lorsque la température diminue :



(1) : Vue schématique de la chambre magmatique. En noir la magma liquide contenant les éléments chimiques dissous, en couleur (forme géométrique) les cristaux en cours de formation. Chaque cristal possède un code de couleur (voir (4)).
(2) : La colonne MAGMA indique le volume de la chambre magmatique occupée par le magma (ici 90 % de la chambre est occupée par le liquide magmatique). En dessous, on peut suivre l'évolution de la composition chimique du magma.
(3) : La colonne CUMULAT permet de suivre l'ensemble des cristaux solidifiés (appelé Cumulat). On a ainsi le volume de cumulat de la chambre magmatique et dessous sa composition chimique.

(4) : Cette zone permet de suivre l'apparition des cristaux formés dans la chambre magmatique grâce au code de couleur. Le % indique la proportion de chaque type de cristaux dans le cumulat. Dans le cas présent (figure ci-contre) 40 % des cristaux formés sont de l'olivine, 54 % des pyroxènes…
(5) : Donne la température du magma.
(6) : Donne une valeur de la vitesse de refroidissement (de 1 : très lente à 9 très rapide). Un refroidissement très rapide correspond à un magma rencontrant brutalement le l'eau de mer lors d'une éruption volcanique. Une vitesse de 1 correspond à un magma ne remontant pas vers la surface et perdant lentement sa propre chaleur.
(7) : En appuyant sur les touches – ou + on peut diminuer ou accélérer la vitesse de refroidissement.

Question 3: Que peut on remarquer concernant l'évolution de la composition chimique du magma et l'apparition des cristaux dans la chambre magmatique ? Noter la température d'apparition de chaque type de minéral. (On peut demander à l'ordinateur de réaliser une pause de la simulation en appuyant sur « *entrée* ». Pour reprendre la simulation il faut à nouveau appuyer sur « *entrée* ».)

Question 4 : Le plagioclase est-il stable à 1500°C ? Si on réchauffait la roche que l'on vient de cristalliser quel serait d'après vous le premier minéral à fondre ? (Justifiez vos réponses).

Etape 3 – La fusion partielle d'une péridotite

Nous venons de voir que la cristallisation totale d'une péridotite se fait vers 1300°C. Nous pouvons penser que sa fusion va donc commencer si cette roche dépasse cette température.
Nous venons également de voir (question 3) que le magma en fin de cristallisation a une composition différente que le magma initial. On peut donc penser qu'au début de la fusion d'une roche, le premier magma produit aura la même composition que le magma de fin de cristallisation de cette même roche !!
Problème : Peut-on obtenir un magma de type basaltique si on ne fait fondre d'une partie de la péridotite du manteau (fusion partielle) ?

Manipulation du logiciel : Relancer une cristallisation de la péridotite en surveillant la composition chimique du magma et son % qui indiquera ici un % de fusion restante ou fusion partielle. (Réalisez dès que nécessaire des « *pauses* » dans la simulation).
Question 5 : Répondez ensuite au problème posé ci-dessus. (Noter dans un tableau la composition chimique en oxydes du magma)

	SiO_2	Al_2O_3	FeMgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O
Magma produit par fusion partielle							

Etape 4 – La cristallisation du magma après fusion partielle de la péridotite : gabbro et basaltes.

Problème : Vérifier l'hypothèse issue de la question 5 et expliquer comment avec un même magma il est possible de cristalliser deux roches différentes.

Manipulation du logiciel : Sélectionner « *Données* » dans la barre de navigation, puis valider. En utilisant les flèches du clavier, sélectionner (il faut qu'elle soit entourée d'un *surlignage blanc*) la ligne SiO_2 dans le rectangle « *Composition chimique* ». Puis *valider*. Vous pouvez alors entrer directement la valeur en SiO_2 du magma que vous voulez faire cristalliser (voir la composition chimique déterminée à l'étape 3). *Valider* à nouveau, une fois la valeur tapée. Puis descendre à la ligne suivante en utilisant la flèche « vers le bas » pour sélectionner la ligne Al_2O_3. *Valider* à nouveau. *Taper* la valeur du magma pour Al_2O_3, *valider*… et ainsi de suite pour tous les oxydes du magma à cristalliser.

Il faut indiquer la température du magma. Pour cela on connaît les températures des magmas basaltiques au niveau des rifts des dorsales océaniques (T = 1200 °C).
Avec les flèches, déplacer le curseur sur « *Température* » dans le cadre « *Paramètres* ». Entrer alors la température de votre magma. Puis en dessous, indiquer la vitesse de « *refroidissement* » que vous voulez simuler. *Vitesse 1* : Vitesse très lente (correspond à un magma bloqué en profondeur) la *vitesse 9* : Correspond à un magma rentrant très brutalement en contact avec une zone froide.
Tester différentes conditions de cristallisation du même magma en réglant ces paramètres. Une fois les paramètres réglés, cliquez sur « *échap* », puis « S*imulation* ». Une fois la cristallisation terminée, le logiciel indique « *terminé* ». Le % de magma restant correspondra au % de verre (non cristallisé contenu dans votre roche).

Question 6 : Quelles sont les conditions (température, refroidissement) de cristallisation des gabbros et des basaltes ?

TP – Formation de la croûte océanique à partir de la fusion manteau

Etape 1 – Les compositions minéralogiques et chimiques du manteau et de la croûte océanique : Rappels

- Observer au microscope polarisant les lames de basaltes, gabbro et péridotites.
- Noter dans un tableau le % approximatif de chacun des minéraux suivant : pyroxène, olivine, Feldspath (plagioclase), verre, ainsi que leur taille.

	Péridotite	Gabbro	Basalte
Pyroxène	*54*	*30/40*	*10*
Olivine	*40*	*0*	*0*
Feldspath	*6*	*70/60*	*60*
Verre	*0*	*0*	*60*
Taille des cristaux			

Utilisation du logiciel Magma (Mode d'emploi) :

Lancer le logiciel DosBOX.
Taper « *mount c c:\magma* ». Puis valider. Taper ensuite « *c :* » puis valider. Taper alors « *magma* » puis valider. Le logiciel Magma se lance dans une fenêtre. Valider à nouveau. Une barre de navigation apparaît en haut de la fenêtre de « *magma* ». Vous pouvez à n'importe quel moment atteindre cette barre de navigation en appuyant sur la touche « *echap* ». Pour vous déplacer dans cette barre de navigation, utilisez les flèches droite et gauche. Sélectionnée (fond blanc) la case « *données* » puis valider.

Données : Cette fenêtre vous permet de visionner et sélectionner (et éventuellement de modifier) les compositions chimiques des roches communes. En utilisant les flèches, positionnez vous sur « *B. Tholéitique* » (pour Basalte de la croûte océanique), et valider. La composition chimique (en oxyde) apparaît. Notez cette composition chimique dans un tableau. De la même façon, sélectionner « *Granogabbro* » (pour Gabbro), puis « *péridotite* ».

	Péridotite	Gabbro	Basalte
SiO_2	*44.5*	*55*	*56*
Al_2O_3	*1.8*	*17*	*17*
FeMgO	*50*	*13*	*17*
CaO	*1.6*	*9*	*8*
Na_2O	*0.3*	*3*	*1.8*
K_2O	*0.1*	*1*	*0.5*
H_2O	*0*	*1.3*	*0*

En utilisant la comparaison des trois roches, répondez aux **questions 1 et 2** :

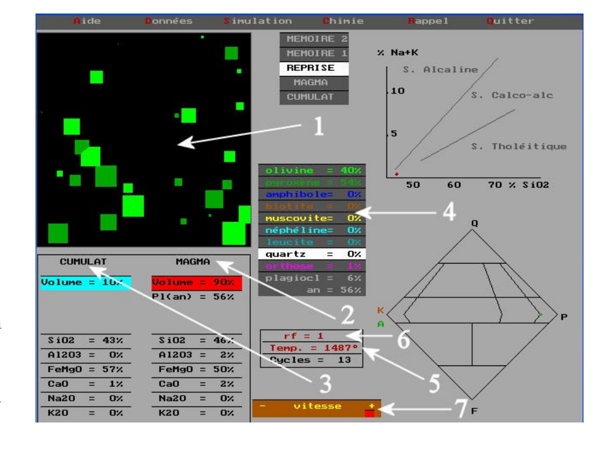
2. Basaltes et gabbro peuvent ils être issu de la cristallisation du même magma ?
2. Peut-on faire l'hypothèse que le manteau est à l'origine de la croûte océanique ?

1. *On remarque que la composition chimique des basaltes et des gabbros est sensiblement la même, avec un maximum de différences de 4 points de % pour les oxydes de Fer et de Magnésium. On peut donc supposer que le magma qui a donné les gabbros et les basaltes possédait la même composition chimique que ces deux roches et donc que ces deux roches dérivent du même magma.*
2. *Les péridotites présentent d'importantes différences avec les Gabbros/ basaltes. Elles sont en particulier 4 fois plus concentrées en oxyde de Fer et Magnésium et 10 fois moins concentrées en oxydes l'aluminium. On peut donc difficilement expliquer l'accrétion de la croute océanique par la fusion du manteau puis sa recristallisation sous l'axe de la dorsale.*

Etape 2 – La cristallisation d'une roche à partir d'un magma

Un magma est un ensemble d'éléments chimiques contenu dans un liquide à très haute température. Cette température est telle que les atomes ne peuvent pas se rassembler par des liaisons covalentes ou ioniques pour former des molécules. Cependant si la température descend sous une limite, appelée Température de cristallisation (ou température de fusion), les atomes vont se rassembler pour former un cristal. Chaque cristal a une température de fusion propre au dessus de laquelle il fond et en dessous de laquelle il se forme à l'état solide.
Le logiciel Magma permet de simuler la cristallisation d'un magma de composition choisie.

Retournez à la fenêtre « *Données* » en appuyant sur « *echap* » et choisissez « *Péridotites* », valider. Appuyez à nouveau sur « *echap* » pour retourner à la barre de navigation et sélectionner « *Simulation* » et valider. Une nouvelle fenêtre apparaît (*voir ci-contre*). Cette fenêtre permet de suivre l'évolution du magma lorsque la température diminue : (*signification des flèches)*



(1) : Vue schématique de la chambre magmatique. En noir la magma liquide contenant les éléments chimiques dissous, en couleur (forme géométrique) les cristaux en cous de formation. Chaque cristal possède un code de couleur (voir (4)).
(2) : La colonne MAGMA indique le volume de la chambre magmatique occupée par le magma (ici 90 % de la chambre est occupée par le liquide magmatique). En dessous, on peut suivre l'évolution de la composition chimique du magma.
(3) : La colonne CUMULAT permet de suivre l'ensemble des cristaux solidifiés (appelé Cumulat). On a ainsi le volume de cumulat de la chambre et dessous sa composition chimique.
(4) : Cette zone permet de suivre l'apparition des cristaux formés dans la chambre magmatique grâce au code de couleur. Le % indique la proportion de chaque type de cristaux dans le cumulat. Dans le cas présent (figure ci-contre) 40 % des cristaux formés sont de l'olivine, 54 % des pyroxènes…
(5) : Donne la température du magma.
(6) : Donne une valeur de la vitesse de refroidissement (de 1 : très lente à 9 très rapide). Un refroidissement très rapide correspond à un magma rencontrant brutalement le l'eau de mer lors d'une éruption volcanique. Une vitesse de 1 correspond à un magma ne remontant pas vers la surface et perdant doucement sa propre chaleur.
(7) : En appuyant sur les touches – ou + on peut diminuer ou accélérer la vitesse de refroidissement.

Question 3: Que peut on remarquer concernant l'évolution de la composition chimique du magma et l'apparition des cristaux dans la chambre magmatique ? Noter la température d'apparition de chaque type de minéraux. (On peut demander à l'ordinateur de réaliser une pause de la simulation en appuyant sur « *entrée* ». Pour reprendre la simulation il faut à nouveau appuyer sur « *entrée* ».)

3. *On remarque que la composition chimique du magma évolue lors du refroidissement. Notamment il devient de plus en plus concentré en SiO2. On remarque également qu'au départ se forme simultanément des cristaux d'olivine et de pyroxène. C'est seulement à la fin de la cristallisation que se commence à se former des Feldspaths de type plagioclases.*

Question 4 : Le plagioclase est-il stable à 1500°C ? Si on réchauffait la roche que l'on vient de cristallisé quel serait d'après vous le premier minéral à fondre ? (Justifiez vos réponses).

4. Le plagioclase n'est sans doute pas est stable vers 1500 °C sinon en aurait observé la cristallisation de ce minéral dès le début dans le cumulat et non seulement vers 1350°C. Si l'on chauffait on cette péridotite le premier minéral à fondre serait certainement les plagioclases car leur température de cristallisation et donc de fusion est d'environ 1350°C.

Etape 3 – La fusion partielle d'une péridotite

Nous venons de voir que la cristallisation totale d'une péridotite se fait vers 1300°C. Nous pouvons penser que sa fusion va donc commencer si cette roche dépasse cette température.
Nous venons également de voir que le liquide magmatique à la fin du processus de cristallisation à une composition particulière et différente de la composition chimique du magma initial. On peut donc penser qu'au début de la fusion d'une roche le magma aura la même composition qu'en fin de cristallisation de cette même roche !!
Problème : Peut-on obtenir un magma de type basaltique si on ne fait fondre d'une partie de la péridotite du manteau (fusion partielle) ?

Manipulation du logiciel : Relancer une cristallisation de la péridotite en surveillant la composition chimique du magma et son % qui indiquera ici un % de fusion restante ou fusion partielle. (Réalisez dès que nécessaire des « *pauses* » dans la simulation). **Question 5** : Répondez ensuite au problème posé ci-dessus. (Noter dans un tableau la composition chimique en oxydes du magma)

5. On observe que pour une fusion partielle de 10 % (de magma) et 90 % de cumulat, la composition chimique du magma correspond approximativement à la composition chimique des basaltes et des gabbros. On pourrait donc supposer qu'une péridotite subissant une fusion de 10 % seulement de son volume donnerait un magma de type basaltique.

	SiO_2	Al_2O_3	FeMgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O
Magma fusion 10%	54	19	15	7	3	1	0

Etape 4 – La cristallisation du magma après fusion partielle de la péridotite : gabbro et basaltes.

Problème : Vérifier l'hypothèse issue de la question 5 et expliquer comment avec un même magma il est possible de cristalliser deux roches différentes.

Manipulation du logiciel : Sélectionner « *Données* » dans la barre de navigation, puis valider. En utilisant les flèches du clavier, sélectionner (il faut qu'elle soit entourée d'un *surlignage blanc*) la ligne SiO_2 dans le rectangle « *Composition chimique* ». Puis *valider*. Vous pouvez alors entrez directement la valeur en SiO_2 du magma que vous voulez faire cristalliser (voir la composition chimique déterminée à l'étape 4). *Valider* à nouveau, une fois la valeur tapée. Puis descendre à la ligne suivante en utilisant la flèche « vers le bas » pour sélectionner la ligne Al_2O_3. *Valider* à nouveau. *Taper* la valeur du magma pour Al_2O_3, *valider*… et ainsi de suite pour tous les oxydes du magma à cristalliser.

Il faut indiquer la température du magma. Pour cela on connaît les températures des magmas basaltiques au niveau des rifts des dorsales océaniques (T = 1200 °C).
Avec les flèches, déplacé le curseur sur « *Température* » dans le cadre « *Paramètres* ». Entrée alors la température de votre magma. Puis en dessous, indiquer la vitesse de « *refroidissement* » que vous voulez simuler. *Vitesse 1* : Vitesse très lente (correspond à un magma bloqué en profondeur) la *vitesse 9* : Correspond à un magma rentrant très brutalement en contact avec une zone froide.
Tester différentes conditions de cristallisation du même magma en réglant ces paramètres. Une fois les paramètres réglés, cliquez sur « *échap* », puis « S*imulation* ». Une fois la cristallisation terminée, le logiciel indique « *terminé* ». Le % de magma restant correspondra au % de verre (non cristallisé contenu dans votre roche).

Question 6 : Quelles sont les conditions (température, refroidissement) de cristallisation des gabbros et des basaltes ?

6. On remarque qu'en cristallisant lentement un magma (composition voir ci-dessus) d'une température de 1200°C, on obtient une roche entièrement cristallisée comprenant 70% de Feldspath et 30 % de pyroxènes, ce qui correspond à un gabbro. Tandis qu'en cristallisant de même magma très rapidement (fort refroidissement) on obtient une roche comprenant 60% de verre, 30 % de Feldspaths et 10% de pyroxènes, ce qui correspond à un basaltes.

Recherche au microscope des minéraux principaux : Gabbro / Basaltes / Péridotites

Etape 1 – Réglage du microscope polarisant

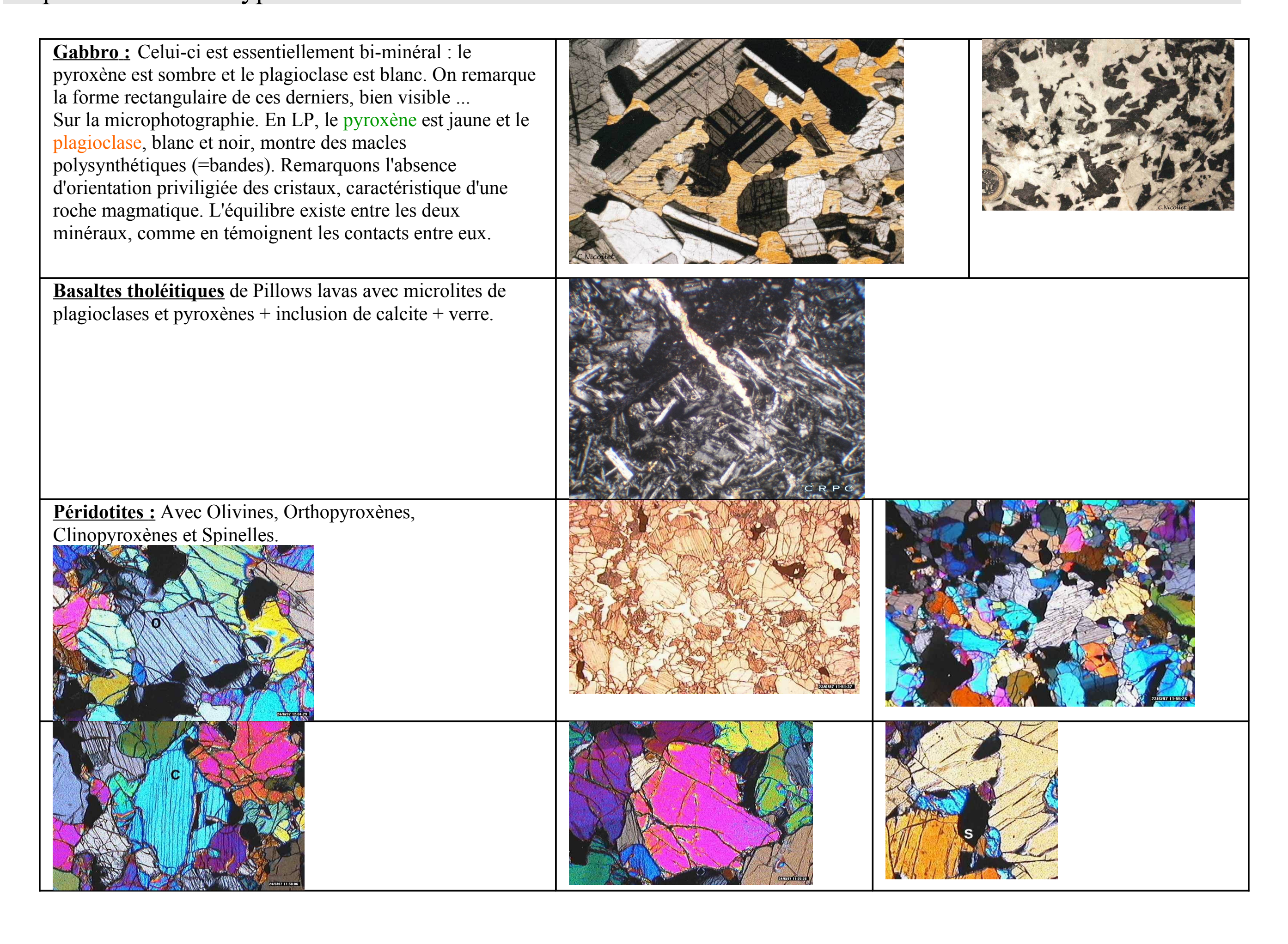
- Placer l'analyseur sur l'occulaire le tourner jusqu'à obtenir le noir. Repérez la position de l'analyseur (que l'on remettra à chaque fois sur cet amplacement).

Etape 2 – Repérez les différents minéraux de ces roches

VERRE : Coloration noire qui semble occuper tous les interstices. Ce sont des verres (atomes non organisé en réseau cristallin - Oxydes).

PYROXENES : Faiblement coloré en LPNA. Clivage à 90° frustes. Gris/blanc en LPA (**Clinopyroxènes**). Jaune/ Orange / Magenta (**Orthopyroxènes**)
FELDSPATH (Plagioclases) : Incolore en LPNA. Gris/Blanc en LPA. Forme de bâtonnet. Mâcle.
OLIVINES : Incolore en LPNA. Teintes vives B/V/J en LPA. Fort relief. Aspect craquelé.

Etape 3 – Les trois types de roches



Gabbro : Celui-ci est essentiellement bi-minéral : le pyroxène est sombre et le plagioclase est blanc. On remarque la forme rectangulaire de ces derniers, bien visible ... Sur la microphotographie. En LP, le pyroxène est jaune et le plagioclase, blanc et noir, montre des macles polysynthétiques (=bandes). Remarquons l'absence d'orientation priviligiée des cristaux, caractéristique d'une roche magmatique. L'équilibre existe entre les deux minéraux, comme en témoignent les contacts entre eux.

Basaltes tholéitiques de Pillows lavas avec microlites de plagioclases et pyroxènes + inclusion de calcite + verre.

Péridotites : Avec Olivines, Orthopyroxènes, Clinopyroxènes et Spinelles.